

Научная статья  
УДК 378.147  
ББК 74.489  
ГРНТИ 14.35.09  
ВАК 5.8.2.  
PACS 01.40.-d  
OCIS 000.2060  
MSC 00A79

## Разработка дистанционного курса по квантовой фотонике в системе управления обучением MOODLE

В. В. Левочкина  <sup>1</sup>

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», 432071, Ульяновск, Россия*

Поступила в редакцию 22 августа 2024 года

После переработки 23 августа 2024 года

Опубликована 12 сентября 2024 года

---

**Аннотация.** Рассматриваются результаты разработки дистанционного курса по квантовой фотонике в виде дистанционного курса, созданного в системе управления обучением MOODLE. Дистанционный курс по квантовой фотонике посвящён изучению квантовых свойств наносистем и наноструктур в поле фотонов. Проведено описание основных функциональных возможностей дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета. Рассматриваются методические особенности процесса разработки дистанционного курса по квантовой фотонике в системе управления обучением MOODLE, который может быть использован в вузовском курсе физики. Обсуждаются возможности модульной структуры дистанционного курса по квантовой фотонике.

**Ключевые слова:** фотоника, квантовая фотоника, курс, дистанционный курс, квантовые свойства наносистем, наноструктура, поле фотонов

---

### Введение

Дистанционный курс по квантовой фотонике посвящён изучению фундаментальных идей квантовой механики и квантовой электродинамики наносистем и наноструктур в поле фотонов. Целью исследования является научно-методическое обоснование процесса разработки дистанционного курса по квантовой фотонике. Задача исследования состоит в разработке модульной структуры и заданий дистанционного курса по квантовой фотонике в системе управления обучением MOODLE. Объектом исследования является курс по квантовой фотонике. Предметом исследования является процесс создания информационных и контролируемых элементов дистанционного курса по квантовой фотонике в системе управления обучением MOODLE.

---

<sup>1</sup>E-mail: sokolovavasilevna2002@inbox.ru

Гипотеза исследования состоит в том, что если использовать курс квантовой фотоники, основанный на комбинации теоретических методов и численных методов в процессе изучения квантовой фотоники, то можно повысить познавательный интерес студентов к квантовой оптике и фотонике.

Базой исследования курса по квантовой фотонике в системе управления обучением MOODLE является образовательный портал ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И. Н. Ульянова».

## Обзор литературы по квантовой оптике и фотонике

Квантовая оптика — это область, которая исследует квантовое поведение электронов, взаимодействующих со светом, включая такие явления, как осцилляции Раби и полосы Рамсея @auxrussian@auxenglish[1]. Квантовая оптика связана с исследованием квантовомеханического поведения электронов, взаимодействующих с фотонами в веществе. В работе [1] обсуждаются осцилляции Раби, полосы Рамсея и диссипативные процессы во взаимодействии света и вещества. Эти квантовые явления используют физические свойства квантового света с низким уровнем шума для стимулирования научных открытий и технологических достижений, используя компоненты оптических телекоммуникаций для эффективных детекторов и манипулирования фотонами [2]. В статье [2] обсуждается, как квантовая оптика обеспечивает новые технологии, основанные на свете, включая безопасную связь, зондирование, моделирование и вычисления. Эта дисциплина выходит за рамки традиционных изображений и спектроскопии, предлагая новые каналы информации через статистику фотонов и орбитальный угловой момент, что имеет решающее значение для понимания процессов излучения в природных лазерных источниках и средах компактных объектов [3]. Квантовая оптика исследует дополнительные свойства света, помимо традиционных изображений и спектроскопии, предлагая понимание статистики фотонов, орбитального углового момента и процессов излучения в астрономических наблюдениях [3]. Квантовая оптика знакомит с фундаментальными концепциями квантовой механики, включая квантование электромагнитных полей, квантовые состояния света и квантовую запутанность, необходимые для квантовых вычислений [4]. В работе [4] представлены основные понятия квантовой оптики, включая квантование электромагнитных полей, квантовые состояния света, квантовые операции, измерения и квантовую запутанность. Квантовая оптика — это новая область, которая исследует взаимодействие отдельных квантов света с обычной материей, способствуя пониманию квантовой механики [5]. Роль света в эволюции квантовой механики полностью осознается благодаря появлению квантовой оптики, что стало важной вехой в понимании света как квантовой сущности [5]. Квантовая оптика рассматривает явления, которые можно формализовать, только рассматривая свет как потоки дискретных квантов энергии или фотонов. Квантовая оптика рассматривает свет как дискретные энергетические кванты, называемые фотонами. Квантовая оптика включает в себя моделирование оптических компонентов в рамках этой структуры, включая квантовые состояния света, зеркала, фотодетектирование и оптических полостей [6]. Квантовая оптика исследует квантовые явления во взаимодействиях света и материи, охватывая такие темы, как квантовые пропагаторы, неклассические состояния света и функции распределения фотонов, как обсуждается в работе [7]. В работе [7] рассматривается теория квантового пропагатора и нестационарных интегралов движения в квантовой оптике, а также свойства функции Вигнера,  $Q$ -функции и представления когерентного состояния. Пропагаторы и волновые функции свободной частицы, гармонического осциллятора и осциллятора с изменяющейся частотой изучаются с использованием нестационарных интегралов движения, линейных по положению и импульсу. В работе [7] рассмотрены такие неклассические состояния света (квантовых систем), как сжатые состояния, коррелированные состояния, чётные и

нечётные когерентные состояния (состояния кота Шрёдингера). В работе [7] приведены функции распределения фотонов мужского и женского состояний кота Шрёдингера, а также получена функция распределения фотонов сжатого вакуума с использованием теории осциллятора с варьирующимися параметрами. В работе [7] изучены свойства многовариантных полиномов Эрмита, используемых для описания многомодового сжатого и коррелированного света, а также полимодных кошек Шрёдингера. Холодные атомы и фотоны в оптических резонаторах образуют кристаллические структуры, что позволяет в реальном времени изучать явления твёрдого тела в наблюдаемых масштабах, демонстрируя потенциал квантовой оптики в этом контексте [8]. Квантовая оптика исследует фотонные корреляции, проверенные на нелокальность с использованием резонансной флуоресценции полупроводниковой квантовой точки, раскрывая богатый ландшафт двухфотонных корреляций [9]. Квантовая оптика фокусируется на оптических явлениях, объясняемых квантовой теорией, включая вакуумные флуктуации, статистику Бозе-Эйнштейна, состояния суперпозиции и нарушения неравенства Белла, демонстрируя фундаментальные квантовые эффекты в свете [10]. Квантовая оптика — это область исследований с довольно гибкими границами. В самом узком определении эта область ограничивается изучением тех оптических явлений, которые можно понять только с точки зрения квантовой теории света. Даже эта узкая область применения включает в себя богатое разнообразие эффектов, и в последнее время особенно поразительны достижения в использовании оптических экспериментов для демонстрации аспектов фундаментальной квантовомеханической теории, таких как вакуумные флуктуации, статистика Бозе-Эйнштейна, состояния суперпозиции в интерференции частиц и нарушении неравенства Белла [10]. Квантовая оптика предполагает генерацию сжатого света с уменьшенными квантовыми флуктуациями, что имеет решающее значение для квантовых информационных систем и точной метрологии, такой как детекторы гравитационных волн, как описано в статье [11]. «Сжатый» свет демонстрирует меньшие квантовые флуктуации, чем полное отсутствие света. Локализованные сжатые области теперь создаются с помощью инфракрасной световой волны и исследуются с беспрецедентным временным разрешением. Важным методом в области квантовой оптики является получение сжатого света, который имеет флуктуации ниже вакуумного предела, по крайней мере, либо по амплитуде, либо по фазе светового поля. Колебания одной из этих переменных можно уменьшить за счёт другой, что соответствует пределу неопределённости Гейзенберга. Такие сжатые состояния света имеют большое значение в квантовых информационных системах и прецизионной метрологии, включая детекторы гравитационных волн. В статье [11] открывают захватывающее направление в этой области, генерируя сжатый свет в переходных световых полях среднего инфракрасного диапазона и обнаруживая квантовые флуктуации непосредственно во временной области с помощью лазерных импульсов длительностью в несколько фемтосекунд. В статье [11] удаётся наблюдать сжатые и увеличенные квантовые флуктуации в соседних временных регионах. В отличие от существующих методов квантового обнаружения, квантовые свойства можно охарактеризовать без необходимости их усиления или изменения. Квантовая оптика исследует эффекты атомной когерентности и интерференции, такие как генерация без инверсии, состояния захвата и электромагнитно-индуцированная прозрачность, демонстрируя уникальные явления в атомной и радиационной физике [12]. Квантовая оптика с квантовыми газами исследует взаимодействие между светом и ультрахолодной материей на предельном квантовом уровне, где квантовая природа обоих компонентов одинаково важна во взаимодействиях [13].

Фотоника — это междисциплинарная область, объединяющая оптику и электронику, предлагающая огромный потенциал для улучшения различных технологий [14, 15]. Фотоника — это обширная область исследований, лежащая в основе многих различ-

ных областей науки и техники [14]. В статье [14] представлены разработка, внедрение и оценка нового преподаваемого курса по прикладной фотонике, призванного расширить навыки исследователей фотоники по интеграции аналоговой и программируемой цифровой электроники в фотонные системы. Фотоника — это область, которая потенциально может улучшить электронику за счёт использования фотонов в качестве носителя информации вместо электронов, что позволит ускорить обработку данных с меньшим энергопотреблением. В статье [15] обсуждаются различные применения фотоники в таких областях, как вычисления и нейронные сети. Фотоника предполагает использование фотонов вместо электронов для более эффективной обработки данных, причем его применение варьируется от оптоволоконной для систем связи до фотонных вычислений и нейронных сетей [16, 17]. Фотоника — это широкая тема, которая охватывает световые системы, используемые в различных технологиях, включая обработку сигналов для оптоволоконной, многоволновую передачу и достижения фотоники в медицине [16]. Фотоника описывается как важнейшая технология, играющая значительную роль в повседневной жизни [17]. Интеграция фотоники и вычислений сыграла решающую роль в развитии обеих областей, поскольку фотонные архитектуры позволяют выполнять вычисления, выходящие за рамки традиционных аппаратных возможностей [18]. Фотоника играет решающую роль в современной оптике, предлагая захватывающие возможности для высокоскоростной обработки данных, связи и вычислительных достижений. В статье [18] обсуждаются взаимные отношения между фотоникой и вычислениями, подчеркивая, как компьютеры способствовали развитию фотоники и как фотонные архитектуры открывают возможности для продвинутых вычислений. Связь между фотоникой и вычислениями является основой современной оптики и предметом передовых исследований на протяжении более полувека. Как и во многих научных дисциплинах, высокопроизводительные вычислительные методы стали необходимы для описания, проектирования, интерпретации и, в конечном итоге, прогнозирования поведения оптической системы, и сегодня широкая доступность высокопроизводительных фотонных компонентов является свидетельством того, как вычисления способствовали развитию фотоники [18]. В то же время фотонные архитектуры предлагают потрясающие возможности для проведения вычислений, выходящие за рамки современного вычислительного оборудования. Это устанавливает почти уникальную взаимную связь между фотоникой и вычислениями. Фотоника предполагает использование машинного обучения для обратного проектирования и определения характеристик фотонных устройств, повышения эффективности нанофотонных метаструктур и определения характеристик однофотонного эмиттера для более быстрого получения изображений со сверхвысоким разрешением [19]. Интеграция машинного обучения в обратное проектирование, изготовление и определение характеристик фотонных устройств приводит к ускорению вычислений на протяжении всего процесса проектирования устройств. В работе [19] сообщается об использовании машинного обучения для улучшения обратного проектирования нанофотонных метаструктур и ускорения определения характеристик однофотонных эмиттеров при разреженных измерениях. Фотонику можно определить как науку об использовании света для выполнения функций, которые обычно выполняет электроника, например обработки информации [20]. Название «Фотоника» происходит от греческого слова «photos», означающего «свет», и фотоника тесно связана с «оптикой» как «наукой о свете» в классическом смысле как волна (классическая оптика) и в квантовом смысле как частица (квантовая оптика). С развитием лазеров и передачи данных термин «фотоника» был введён из-за необходимости описать область исследований, целью которой было использование света для выполнения функций, которые обычно входят в область электроники, такая как обработка информации. Следовательно, фотонику можно определить как науку, занимающуюся генерацией, передачей, уси-

лением, обнаружением, модуляцией и манипулированием фотонами [20]. Фотоника в этом контексте означает нанесение случайных и взаимозависимых фазовых структур на лазерные лучи, как описано в статье [21].

Недавние достижения в области кремниевых кольцевых резонаторов стимулировали разработку топологических решёток для фотонов с потенциальным применением в интегрированных фотонных устройствах. Черпая вдохновение из ультрахолодных атомов, в работе [22] предлагается, как такие массивы можно расширить до дополнительного синтетического измерения путём объединения различных мод каждого кольцевого резонатора. Таким образом, цепочка одномерных резонаторов может стать эффективной двумерной системой, а массив трехмерных резонаторов может использоваться как четырехмерная фотонная решетка. В качестве примера эффективности этого подхода в работе [22] обсуждается, как впервые экспериментально реализовать оптический аналог четырёхмерного квантового эффекта Холла. Это открывает путь к исследованию решеток более высокой размерности в интегрированной фотонике. Фотоника в этом контексте относится к исследованию решеток более высокой размерности в интегрированной фотонике, включая потенциальную реализацию четырёхмерного квантового эффекта Холла с использованием массивов кольцевых резонаторов [22].

Фотоника — это область, которая предлагает преимущества перед аналоговой и цифровой электроникой, такие как низкие потери при распространении в оптоволокне и широкая полоса пропускания. Аналоговая оптика, обычно называемая микроволновой фотоникой [23], представляет собой область с многолетней историей, которая предлагает широко известные преимущества по сравнению с аналоговой и цифровой электроникой. Двумя наиболее важными особенностями в большинстве, если не во всех, случаях развертывания являются низкие потери при распространении по оптоволокну и широкая полоса пропускания [24]. Действительно, индустрия массовой оптоволоконной связи родилась в результате одновременного использования этих двух преимуществ по сравнению с другими средствами передачи сигнала. Платформы авионики предоставляют множество путей аналогового сигнала, но отсутствие больших расстояний передачи затрудняет внедрение технологии микроволновой фотоники. То есть потеря коэффициента шума при преобразовании между электронной и оптической областью не компенсируется на типичных расстояниях авиационной передачи. Однако за последние шесть лет наблюдался быстрый рост исследований методов микроволновой фотоники для подавления радиочастотных помех, которые не обязательно используют преимущества низких потерь в оптоволокне. Такие методы могут принести пользу военным и коммерческим бортовым платформам. В статье [24] рассматривается современное состояние фотоники для снижения радиочастотных помех, что позволяет предположить, что многоуровневый подход с использованием фотоники, аналоговой электроники и цифровой электроники имеет большой потенциал. В статье [24] обсуждается потенциал использования фотонных методов для подавления радиочастотных помех на военных и коммерческих авиационных платформах.

Топологическая фотоника сочетает фотонику с глубоким обучением для моделирования сложных систем, обеспечивая новые свойства, такие как однонаправленное распространение волн и манипулирование фотонами, для передовых нанофотонных устройств [25]. В статье [25] рассматривается конкретная область, которая сочетает в себе топологическую фотонику и глубокое обучение. Недавний прогресс топологической фотоники привлек огромный интерес благодаря её новым и экзотическим свойствам, таким как однонаправленное распространение электромагнитных волн и надёжное манипулирование фотонами. Ожидается, что эти явления удовлетворят растущие потребности в нанофотонных устройствах следующего поколения. Однако моделирование и проектирование таких очень сложных систем является сложной задачей. Недавно глу-

бокое обучение, подмножество методов машинного обучения, использующих алгоритмы нейронных сетей, было введено в область нанофотоники как эффективный способ уловить сложную нелинейную взаимосвязь между параметрами конструкции и соответствующими им оптическими свойствами. В частности, среди различных областей нанофотоники приложения глубокого обучения топологической фотоники, основанные на моделях нейронных сетей, показали удивительные результаты в определении глобальных свойств материала топологических систем. В статье [25] представлены фундаментальные концепции топологической фотоники и основы глубокого обучения, применяемые параллельно к нанофотонике. После этого обсуждаются недавние исследования приложений глубокого обучения в топологических системах с использованием моделей нейронных сетей. Также обсуждаются резюме и перспективы, показывающие потенциал использования подходов, основанных на данных, в исследованиях топологической фотоники и общей физики.

Фотоника — это наука и технология генерации, обнаружения и управления фотонами (световыми частицами) для различных приложений, таких как передача данных, датчики и оптоэлектроника, как обсуждается в статье [26]. Свет нашел применение в передаче данных, например, в оптических волокнах и волноводах, а также в оптоэлектронике. Он состоит из серии электромагнитных волн с поведением частиц. Фотоника предполагает правильное использование света в качестве инструмента на благо человека. Он происходит от корня слово «фотон», которое означает мельчайшую частицу света, аналогичную электрону в электричестве. Фотоника имеет широкий спектр научных и технологических применений, которые практически безграничны и включают медицинскую диагностику, органический синтез, связь, а также энергию термоядерного синтеза. качество жизни во многих областях, таких как связь и информационные технологии, передовое производство, оборона, здравоохранение, медицина и энергетика. Методы передачи сигналов, используемые в беспроводных фотонных системах, — это цифровая базовая полоса и оптическая связь RoF (радио по оптоволокну). Микроволновая фотоника. считается одной из новых областей исследований. Спектроскопия среднего инфракрасного диапазона (среднего инфракрасного диапазона) предлагает основные средства для анализа биологической структуры, а также неинтрузивных измерений. При распространении с использованием волноводов потери меньше. Волноводы имеют простую структуру и экономичны. эффективность по сравнению с оптическими волокнами. Это важные компоненты благодаря своей компактности, низкому профилю и множеству преимуществ по сравнению с обычными металлическими волноводами. Среди волноводов было обнаружено, что оптофлюидные волноводы обеспечивают очень мощную основу для создания оптофлюидных датчиков. Их можно использовать для изготовления биосенсоры на основе флуоресценции. В оптическом волокне возбуждение затухающим полем используется для определения изменений показателя преломления окружающей среды. Оптические волокна в качестве волноводов могут использоваться в качестве датчиков для измерения деформации, температуры, давления, смещений, вибраций и других величин путём модификации Однако в некоторых областях применения волоконно-оптические датчики всё чаще признаются как технология с очень интересными возможностями. В статье [26] представлены наиболее распространённые и новейшие применения датчиков на основе оптоволоконна. Датчики такого типа могут быть изготовлены с помощью модификация волноводных структур для усиления исчезающего поля; следовательно, может осуществляться прямое взаимодействие измеряемой величины с электромагнитными волнами [26].

Квантовая фотоника относится к использованию фотонов для квантовых информационных процессов. В статье [27] показано, что достигнут прогресс в разработке интегрированных волноводных источников пар фотонов, продвигаясь к универсальным

квантовым вычислениям на этой платформе.

Фотоника относится к изучению и применению генерации, обнаружения и манипулирования светом. Квантовая оптика исследует взаимодействия света и материи на квантовом уровне. В работе [28] обсуждаются физические свойства квантово-оптических корреляций в полупроводниковых системах с квантовыми точками и квантовыми ямами, уделяя особое внимание сжатию, сильной связи и корреляционной спектроскопии. В работе [28] представлена теоретическая основа для исследования формирования квантово-оптических корреляций в полупроводниковых квантовых точках и расширенных системах квантовая яма/квантовая проволока. В качестве показательных примеров анализируются генерация сжатия и сильная связь света с материей. В работе [28] показано, что фермионный и бозонный характер материи оказывают существенное влияние на общую связь света и материи. Корреляционная спектроскопия представлена как подходящий инструмент для демонстрации эффектов квантования света посредством измерения квантовой статистики переизлучённого светового поля. Кроме того, концепция квантово-оптической спектроскопии обсуждается как жизнеспособный метод прямого манипулирования сильно взаимодействующими состояниями многих тел.

Фотонные наноструктуры играют решающую роль в различных технических приложениях, таких как передача информации, сенсорные технологии, фотонные вычисления и повышение эффективности солнечных батарей. Эти структуры обеспечивают экстремальное ограничение света, улучшенное взаимодействие света и материи и создание сложных устройств, таких как фотонные ускорители [29, 30]. Трёхмерные фотонные наноструктуры обеспечивают гибридную интеграцию фотонных платформ для фотонных вычислений с высокой пропускной способностью, включая архитектуры фотонных тензорных ядер, объединяющие кремниевые схемы и схемы III-V для ускорителей машинного обучения [30]. Для изготовления этих структур используются такие методы, как трёхмерная нанопечать и наноимпринтная литография, что позволяет интегрировать различные фотонные платформы и воспроизводить природные структуры для многофункциональных покрытий [31, 32]. В статье [31] исследуются оптические свойства фотонных кристаллов и наноструктур, демонстрируя контроль над стоп-зонами и возможности регистрации спектров рассеяния света в экспериментальных установках. Фотонные наноструктуры, имитирующие цветочный эпидермис, воспроизводятся на покрытиях для улучшения улавливания и защиты света в перовскитных солнечных элементах, достигая высокой эффективности 24.61% [32]. Более того, точное позиционирование металлических наночастиц на фотонных наноструктурах достигается за счёт мягкой литографической печати, что приводит к усилению взаимодействия света и вещества в нанофотонных устройствах [33]. В целом, контролируемая интеграция металлических наночастиц в фотонные наноструктуры открывает возможности для передовых приложений в области зондирования, спектроскопии и обработки сигналов. Точный перенос отдельных наночастиц на фотонные наноструктуры достигается с помощью метода мягкой литографии, что позволяет улучшить взаимодействие света и вещества и создавать сложные нанофотонные устройства [33].

В статье [34] основное внимание уделяется синтезу оптоэлектронных наноструктур на кремниевых и кремниевых подложках с золотым покрытием с использованием ультракоротких лазерных импульсов, демонстрирующих генерацию фотонных наноструктур. В статье [34] определяется генерация наноструктур на кремниевых и кремниевых подложках с золотым покрытием путём настройки длительности импульса предлагаемого метода: ультракоротких лазерных импульсов для генерации наноструктур в условиях окружающей среды. Этот метод представляет собой новый одностадийный метод, который эффективен при синтезе наноструктур на подложках. В статье [34] наблюдали более высокую генерацию нановолокон при более короткой длительности импульса

с помощью изображений сканирующей электронной микроскопии. Образование оксида кремния подтверждено методами энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, а для образца Si+Au достигнута ширина запрещённой зоны 8.19 эВ, что определено по спектрам спектроскопии потерь энергии электронов на отражение. Для образцов на основе кремния для границы раздела Si/SiO<sub>2</sub> был измерен высокий сдвиг валентной зоны 4.93 эВ. Добавление наночастиц золота уменьшило ширину запрещённой зоны, и с помощью оптической спектроскопии мы наблюдали синий сдвиг оптической проводимости для образцов с нановолокнами.

Проведённый обзор научных источников показал актуальность темы исследования.

## **Результаты разработки модульной структуры дистанционного курса по квантовой фотонике в системе управления обучением MOODLE**

Курс по квантовой фотонике посвящён изучению современного состояния и перспектив развития квантовой фотоники. В настоящее время стало возможным применение технологий смешанного обучения, дистанционного обучения и мобильного обучения в университете.

Опишем полученные результаты разработки модульной структуры и избранных элементов дистанционного курса по квантовой фотонике. Общая трудоёмкость курса по квантовой фотонике составляет 4 зачётные единицы или 144 часа. Курс по квантовой фотонике состоит из 12 тематических модулей. Первым тематическим модулем курса по квантовой фотонике является модуль по основам статистической оптики. Вторым тематическим модулем курса по квантовой фотонике является модуль по квантованию электромагнитного поля. Третьим тематическим модулем курса по квантовой фотонике является модуль по квантовым состояниям электромагнитного поля. Четвёртым тематическим модулем курса по квантовой фотонике является модуль по взаимодействию атомов с электромагнитным полем. Пятым тематическим модулем курса по квантовой фотонике является модуль по фотодетектированию. Шестым тематическим модулем курса по квантовой фотонике является модуль по квантовой интерференции. Седьмым тематическим модулем курса по квантовой фотонике является модуль по основам квантовой теории информации. Восьмым тематическим модулем курса по квантовой фотонике является модуль по примерам квантовых состояний и способы их описания. Девятым тематическим модулем курса по квантовой фотонике является модуль по преобразованию мод. Десятым тематическим модулем курса по квантовой фотонике является модуль по однофотонным кубитам, кутритам, куквартам и кудитам. Одиннадцатым тематическим модулем курса по квантовой фотонике является модуль по запутанным состояниям света. Двенадцатым тематическим модулем курса по квантовой фотонике является модуль по неизлучающим источникам и нераспространяющимся полям, неизлучательной дифракции, ближнему полю, ближнеполевой оптике и эванесцентной оптике, формулам Френеля.

## **Описание элементов первой зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике в системе управления обучением MOODLE**

Рассмотрим основные результаты разработки модульной структуры и элементов первой зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета.

Первым тематическим модулем дистанционного курса по квантовой фотонике является модуль по основам статистической оптики. Вторым тематическим модулем ди-



станционного курса по квантовой фотонике является модуль по квантованию электромагнитного поля. Третьим тематическим модулем дистанционного курса по квантовой фотонике является модуль по квантовым состояниям электромагнитного поля.

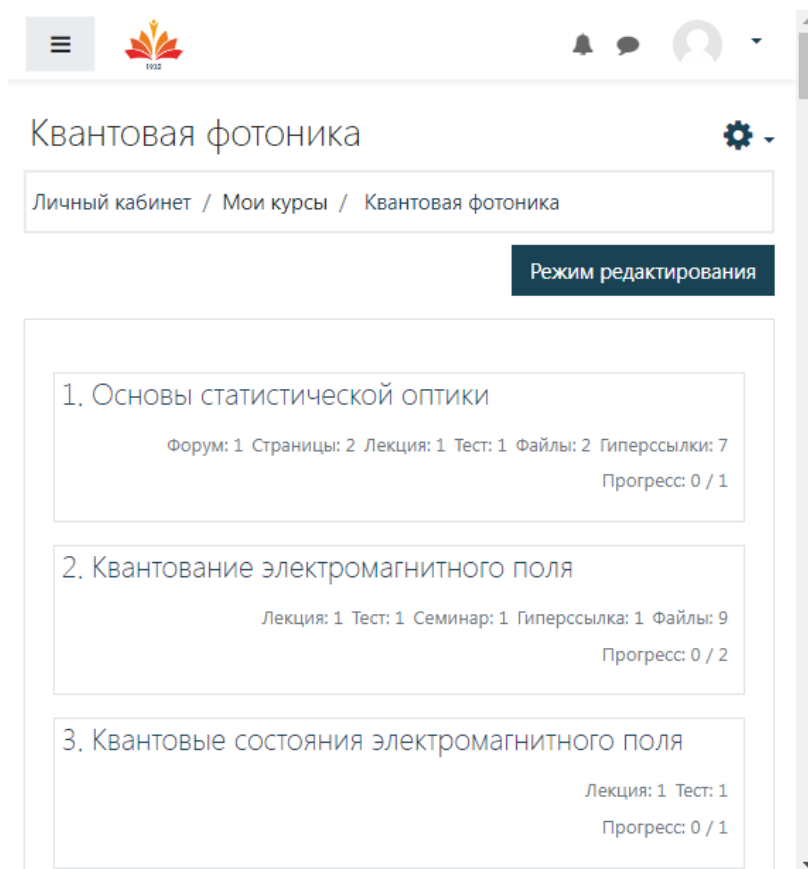


Рис. 1. Страница тематических модулей первой зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 1 приведено изображение страницы тематических модулей первой зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 2 приведено изображение страницы элементов первого тематического модуля в составе материалов первой зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 3 приведено изображение страницы элементов второго тематического модуля в составе материалов первой зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 4 приведено изображение страницы элементов третьего тематического модуля в составе материалов первой зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

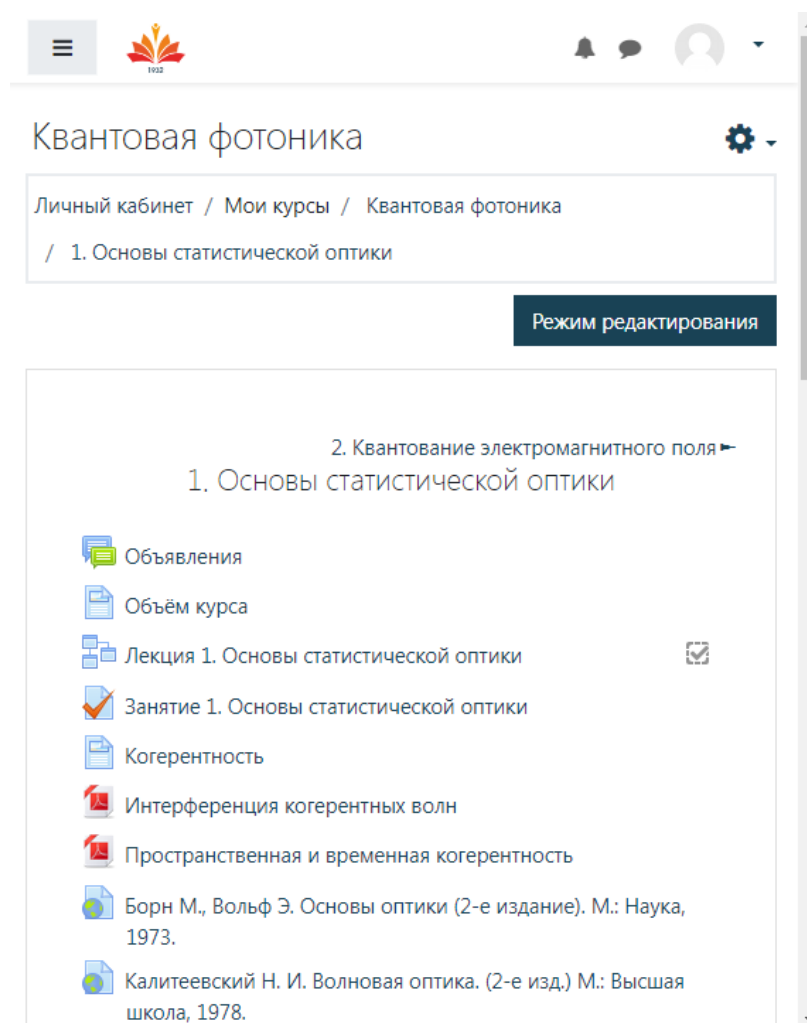


Рис. 2. Страница элементов первого тематического модуля в составе материалов первой зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

## Описание элементов второй зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике в системе управления обучением MOODLE

Рассмотрим основные результаты разработки модульной структуры и элементов второй зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета.

Четвёртым тематическим модулем курса по квантовой фотонике является модуль по взаимодействию атомов с электромагнитным полем. Пятым тематическим модулем курса по квантовой фотонике является модуль по фотодетектированию. Шестым тематическим модулем курса по квантовой фотонике является модуль по квантовой интерференции.

На рис. 5 приведено изображение страницы тематических модулей второй зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 6 приведено изображение страницы элементов четвёртого тематического модуля в составе материалов второй зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

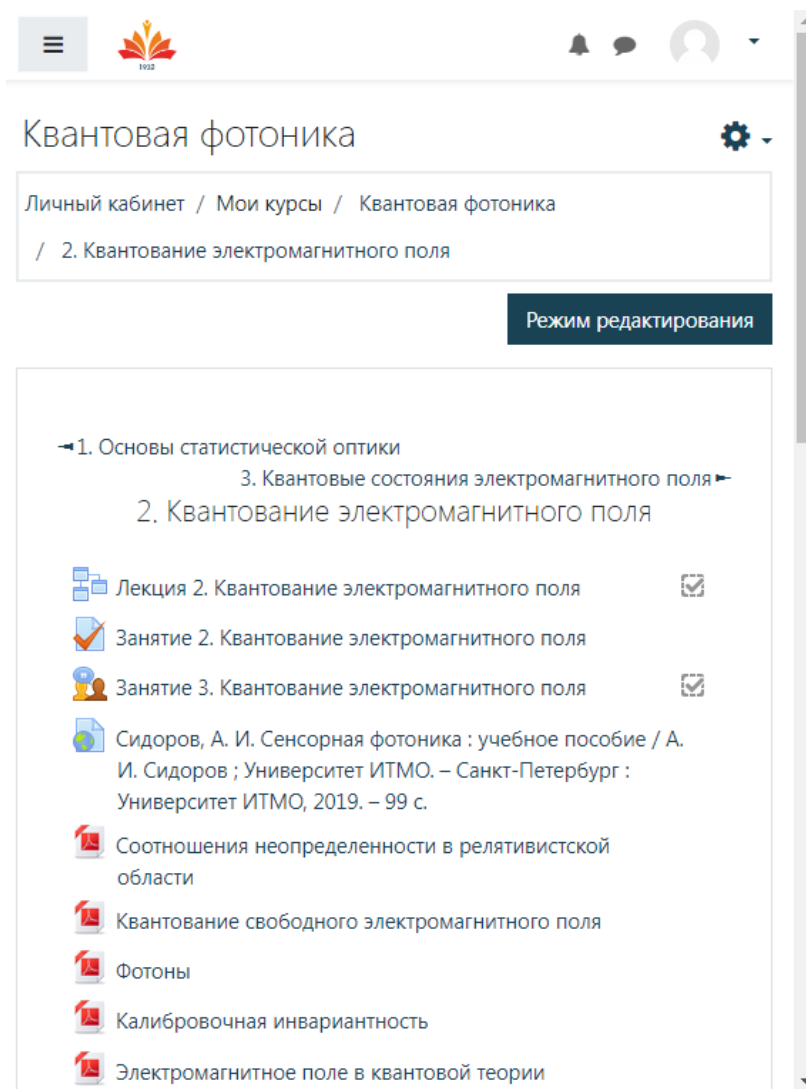


Рис. 3. Страница элементов второго тематического модуля в составе материалов первой зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 7 приведено изображение страницы элементов пятого тематического модуля в составе материалов второй зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 8 приведено изображение страницы элементов шестого тематического модуля в составе материалов второй зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

### **Описание элементов третьей зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике в системе управления обучением MOODLE**

Рассмотрим основные результаты разработки модульной структуры и элементов третьей зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета.

Седьмым тематическим модулем курса по квантовой фотонике является модуль

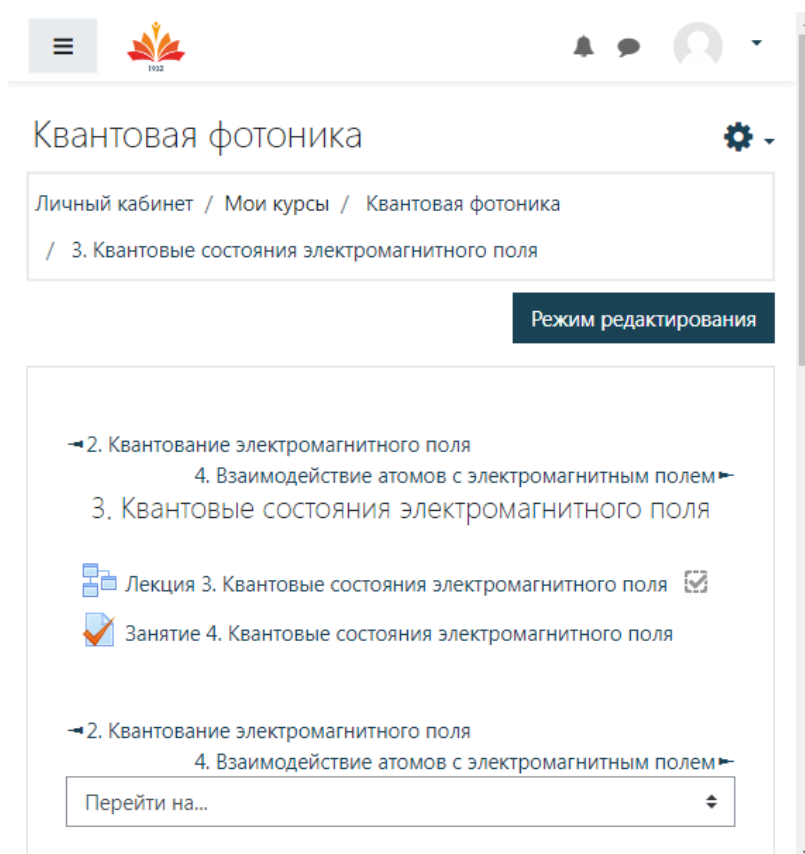


Рис. 4. Страница элементов третьего тематического модуля в составе материалов первой зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

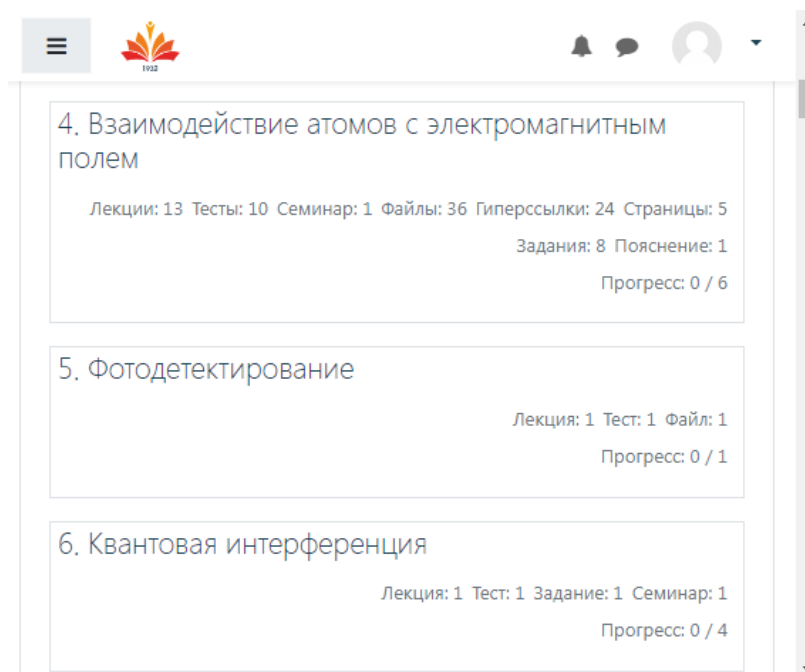


Рис. 5. Страница тематических модулей второй зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

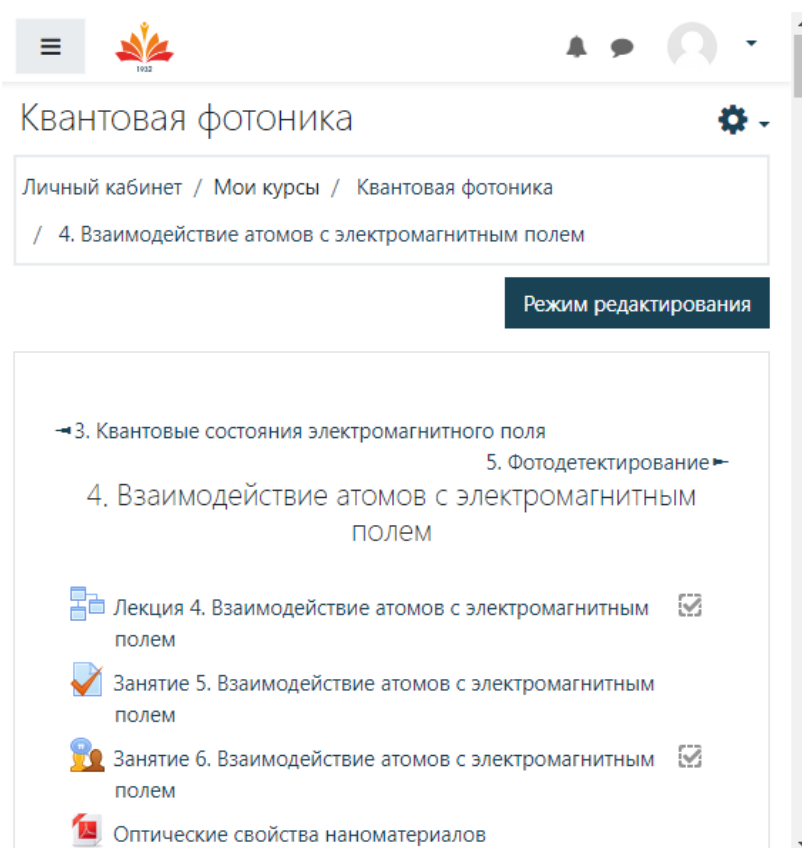


Рис. 6. Страница элементов четвёртого тематического модуля в составе материалов второй зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

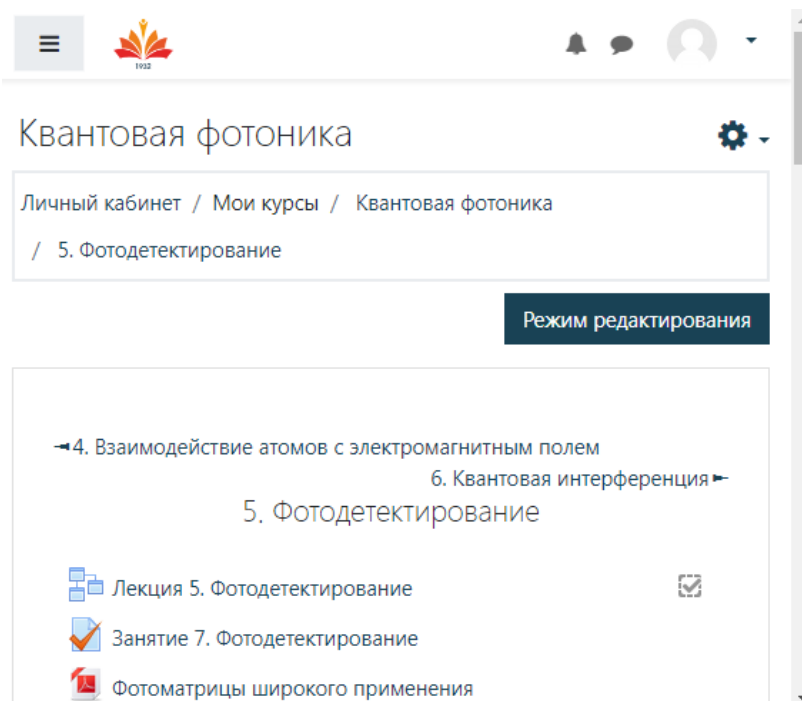


Рис. 7. Страница элементов пятого тематического модуля в составе материалов второй зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

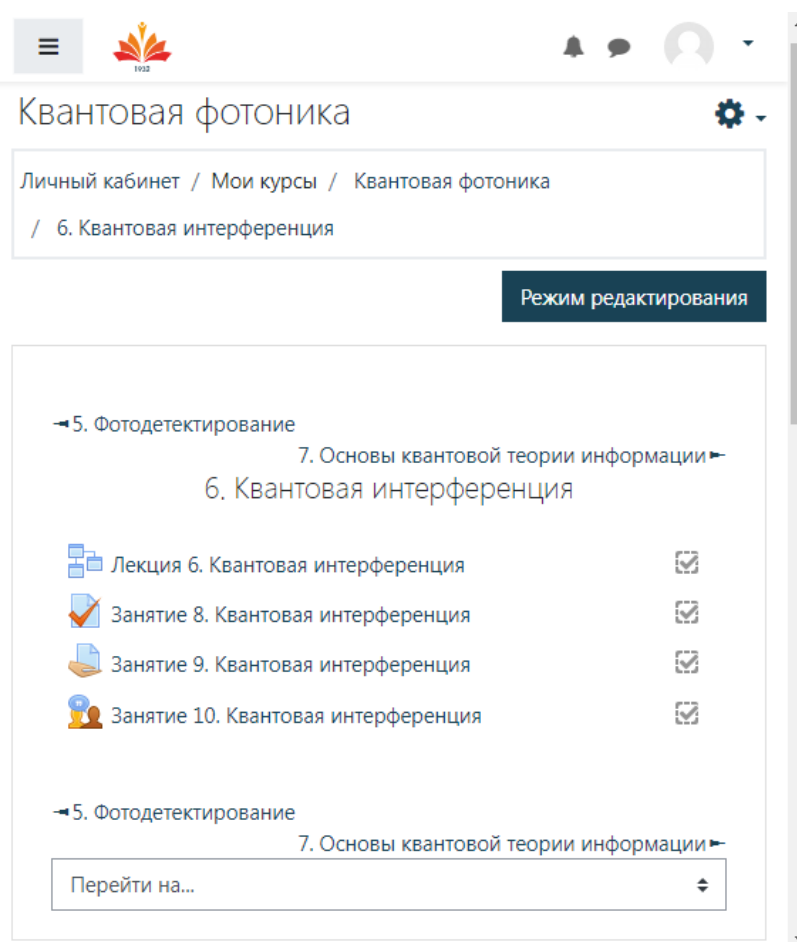


Рис. 8. Страница элементов шестого тематического модуля в составе материалов второй зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

по основам квантовой теории информации. Восьмым тематическим модулем курса по квантовой фотонике является модуль по примерам квантовых состояний и способы их описания. Девятым тематическим модулем курса по квантовой фотонике является модуль по преобразованию мод.

На рис. 9 приведено изображение страницы тематических модулей третьей зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 10 приведено изображение страницы элементов седьмого тематического модуля в составе материалов третьей зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 11 приведено изображение страницы элементов восьмого тематического модуля в составе материалов третьей зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 12 приведено изображение страницы элементов девятого тематического модуля в составе материалов третьей зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

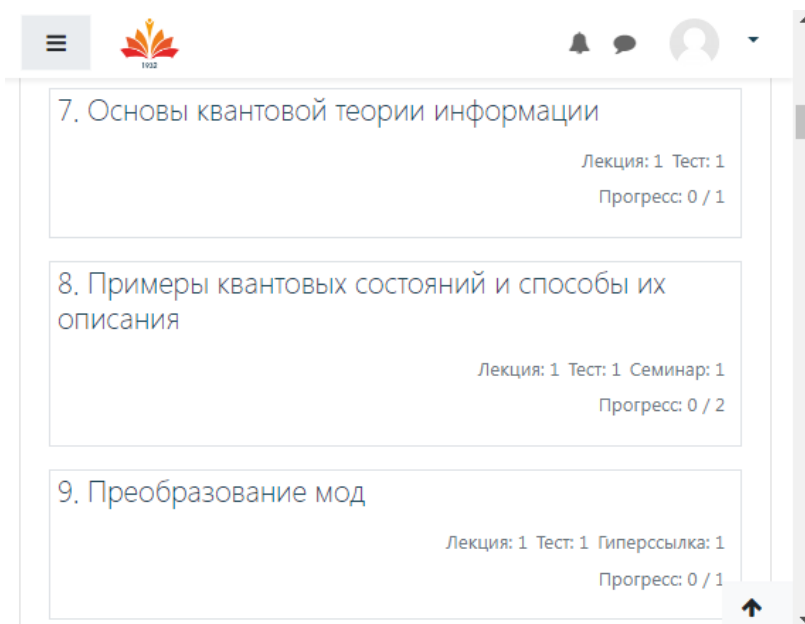


Рис. 9. Страница тематических модулей третьей зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

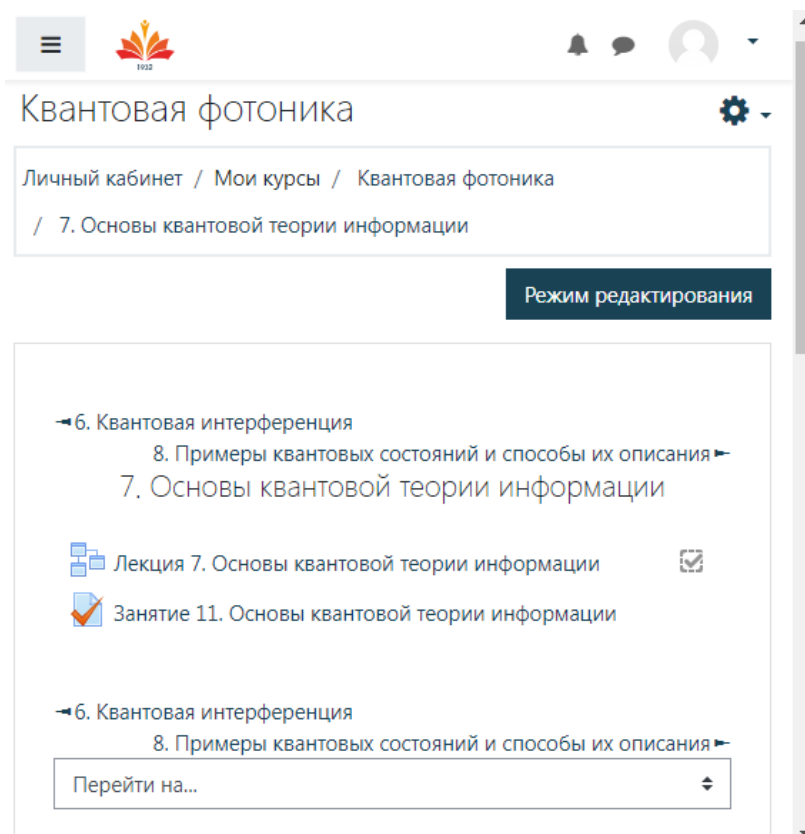


Рис. 10. Страница элементов седьмого тематического модуля в составе материалов третьей зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

### Описание элементов четвёртой зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике в системе управления обучением MOODLE

Рассмотрим основные результаты разработки модульной структуры и элементов четвёртой зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике в системе

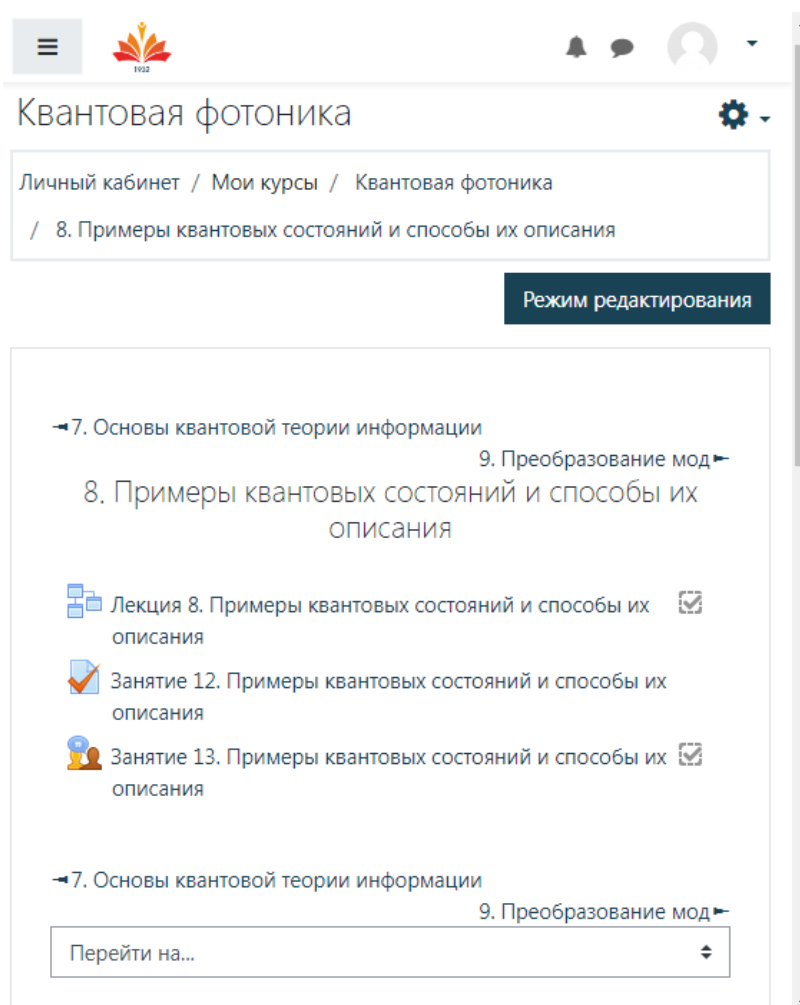


Рис. 11. Страница элементов восьмого тематического модуля в составе материалов третьей зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

управления обучением MOODLE на образовательном портале университета.

Десятым тематическим модулем курса по квантовой фотонике является модуль по однофотонным кубитам, кутритам, куквартам и кудитам. Одиннадцатым тематическим модулем курса по квантовой фотонике является модуль по запутанным состояниям света. Двенадцатым тематическим модулем курса по квантовой фотонике является модуль по неизлучающим источникам и нераспространяющимся полям, неизлучательной дифракции, ближнему полю, ближнеполевой оптике и эванесцентной оптике, формулам Френеля.

На рис. 13 приведено изображение гипертекстовой страницы тематических модулей четвёртой зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 14 приведено изображение страницы элементов десятого тематического модуля в составе материалов четвёртой зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 15 приведено изображение страницы элементов одиннадцатого тематического модуля в составе материалов четвёртой зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.



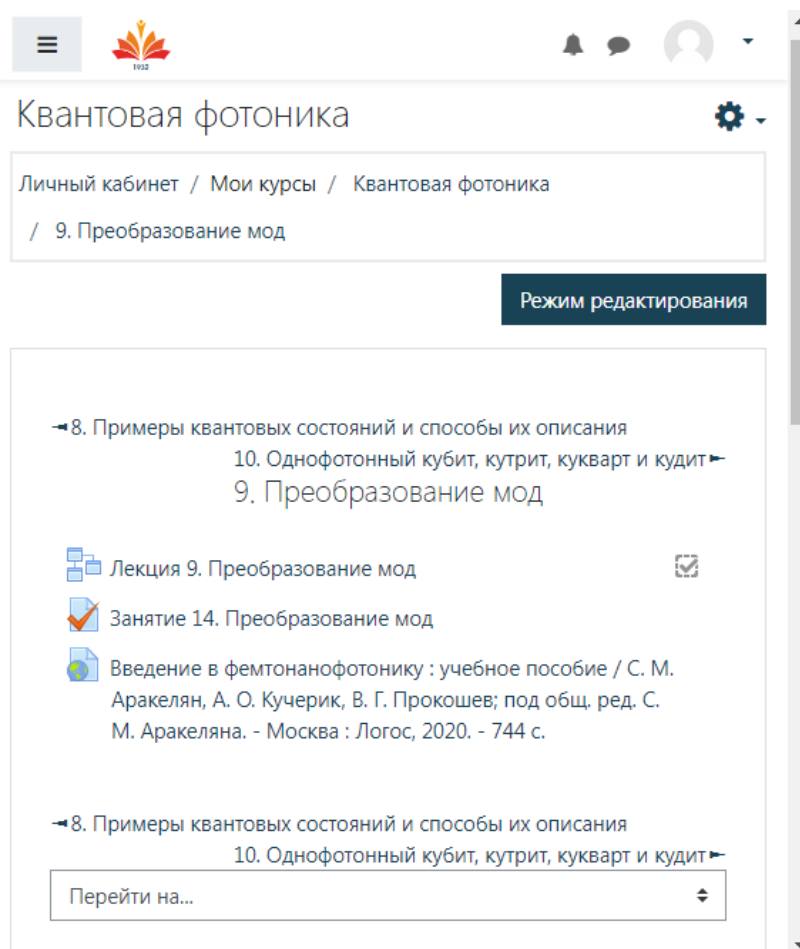


Рис. 12. Страница элементов девятого тематического модуля в составе материалов третьей зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 16 приведено изображение страницы элементов двенадцатого тематического модуля в составе материалов четвёртой зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

Дистанционный курс по квантовой фотонике представляет собой совокупность гипертекстовых страниц, в которых заключен необходимый теоретический материал, справочные таблицы, рисунки, информационно-справочные материалы по квантовой фотонике, тесты и элементы навигации средствами системы управления обучением MOODLE. Закрывая и открывая модули можно поддерживать темп продвижения по курсу квантовой фотонике средствами системы управления обучением MOODLE. Для более глубокого изучения тем можно воспользоваться источниками, приведёнными в списке рекомендуемой литературы, и гиперссылками на внутренние и внешние источники информации в глобальной сети Интернет. По основным терминам и определениям дистанционный курс по квантовой фотонике содержит гиперссылки на статьи глоссария. Весь теоретический материал по квантовой фотонике разделён на модули, а каждый из модулей, в свою очередь, делится на темы. В свою очередь темы могут подразделяться на подтемы. В дистанционном курсе по квантовой фотонике приведены примеры решения задач, задачи с ответами для самостоятельного решения и задачи без ответов для проведения проверочных и контрольных работ. Каждая изучаемая тема в дистанционном курсе по квантовой фотонике включает элементы, содержащие следующие

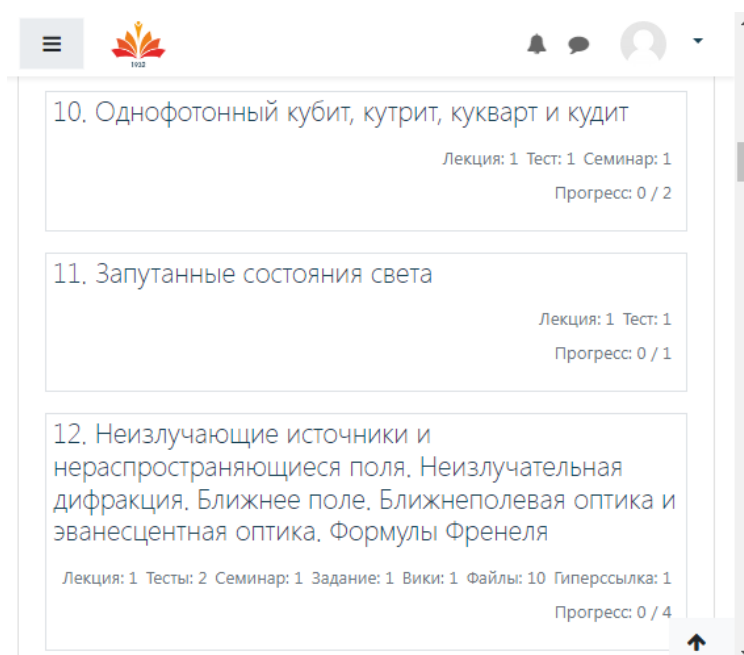


Рис. 13. Страница тематических модулей четвёртой зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

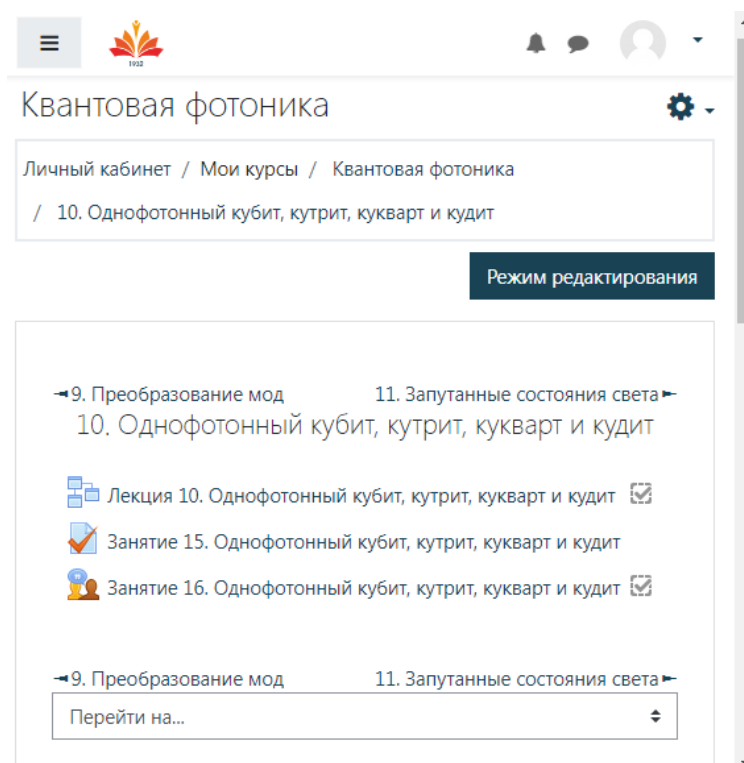


Рис. 14. Страница элементов десятого тематического модуля в составе материалов четвёртой зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

учебные элементы: необходимый теоретический материал, дидактические материалы к занятиям, ряд заданий для самостоятельной работы, гиперссылки на рекомендуемые учебные издания и учебники по квантовой фотонике, гиперссылки на внешние электронные источники информации по квантовой фотонике. Каждая изучаемая тема в

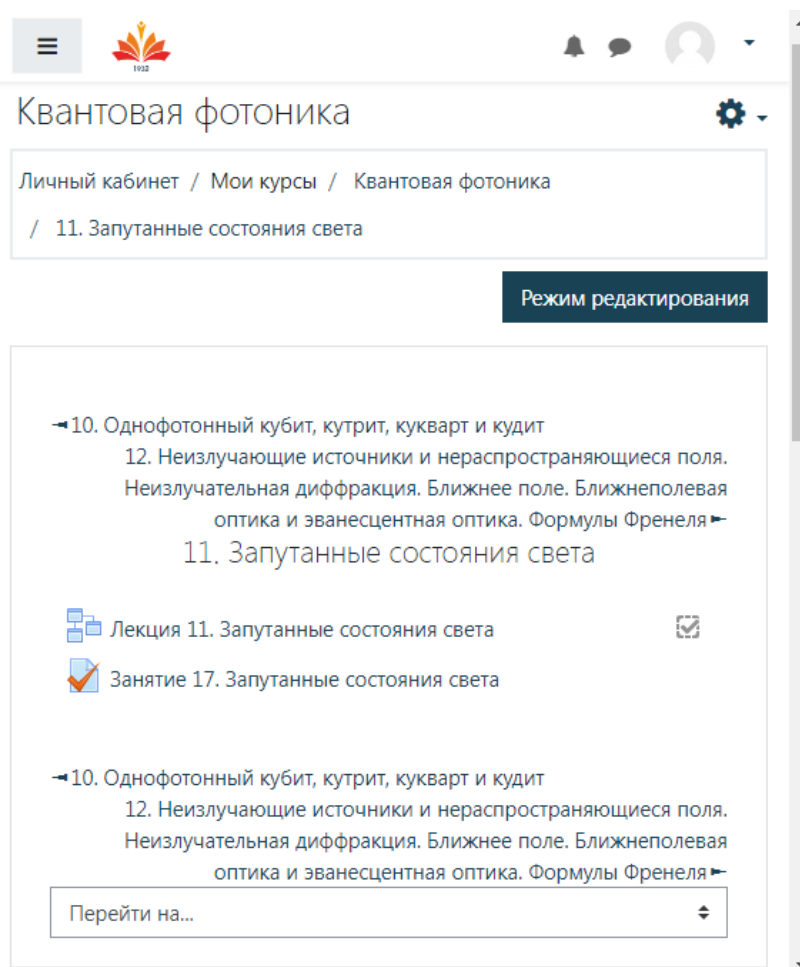


Рис. 15. Страница элементов одиннадцатого тематического модуля в составе материалов четвёртой зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

электронном образовательном ресурсе по квантовой фотонике включает элементы, содержащие следующие контролируемые элементы: тестовые задания для организации промежуточного и итогового контроля по квантовой фотонике. Правильная подборка физических задач и заданий в каждом тематическом модуле курса квантовой фотоники поможет закрепить изученный материал и подготовить студента с помощью курса квантовой фотоники.

Можно подчеркнуть, что специфика курса по квантовой фотонике осуществляется с помощью компьютера с выходом в Интернет. Возможно применение синхронной и асинхронной методик дистанционного обучения в рамках курса дистанционного курса по квантовой фотонике. Существуют особые формы занятий, применяемых в дистанционном обучении по квантовой фотонике. К ним можно отнести чат-занятия и веб-занятия, то есть занятия с использованием современных коммуникационных технологий. Эти типы дистанционных занятий подразумевают текстовое, голосовое или видео-общение при изучении дистанционного курса квантовой фотоники. Примером занятия такого типа может послужить проведение видеоконференции для обсуждения заданий дистанционного курса по квантовой фотонике. Эта форма наиболее приближена к очному обучению, где преподаватель в режиме реального времени передаёт информацию студентам, задаёт и отвечает на вопросы по заданиям дистанционного курса квантовой фотоники. Для осуществления данного вида занятий существует множество

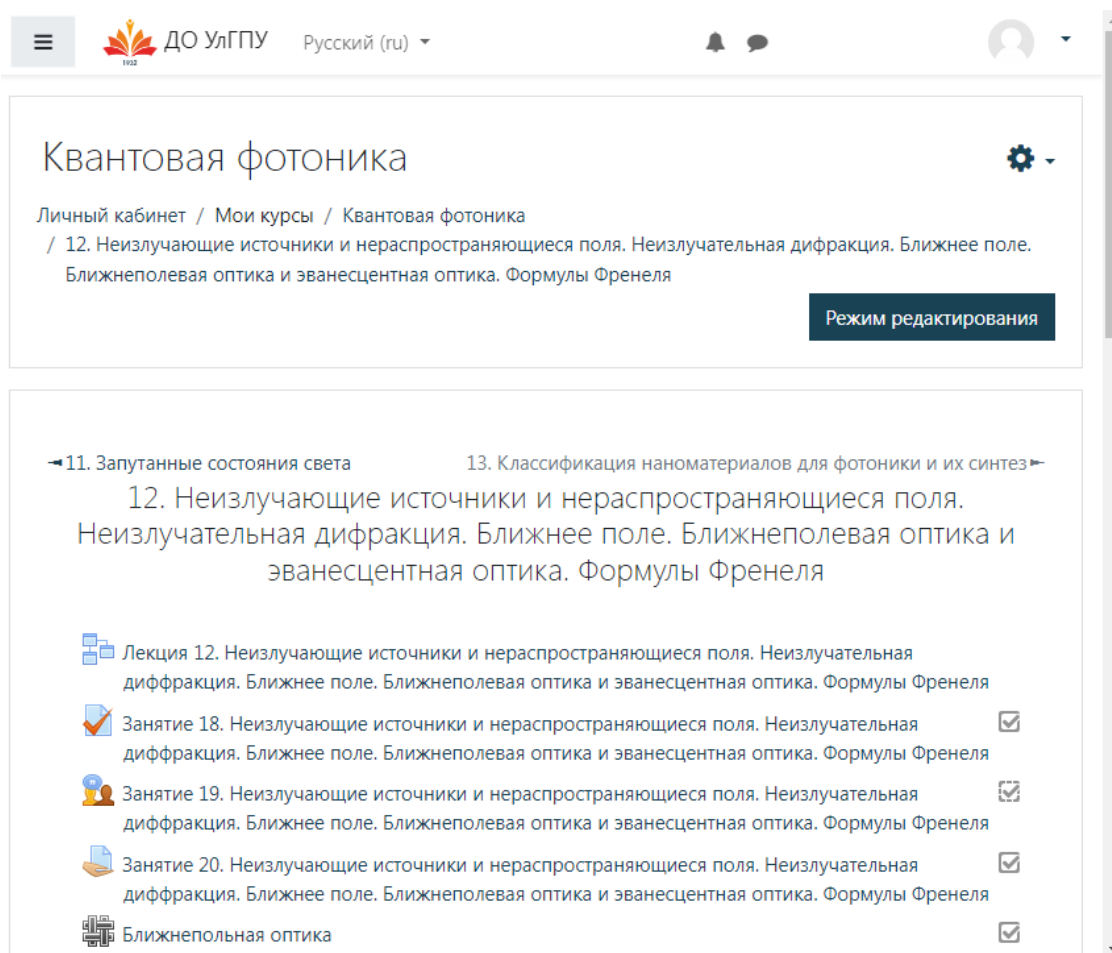


Рис. 16. Страница элементов двенадцатого тематического модуля в составе материалов четвёртой зачётной единицы дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

программ таких, как Zoom, Skype для осуществления видеосвязи, интерактивные доски для совместных записей в ходе обсуждения решения задач по квантовой фотонике. Современные платформы позволяют записывать занятия, чтобы можно было в удобное время пересмотреть, повторить материал, что является несомненным плюсом, по сравнению с традиционным методом аудиторного обучения. Когда невозможно провести занятия в онлайн-форме, используется методика асинхронного дистанционного обучения по квантовой фотонике. При применении данной методики больше ответственности за прохождение обучения возлагается на самостоятельность студента. На первый план выдвигается самообучение, индивидуальный темп обучения, а также регулирования темпа продвижения студента. Ещё одним положительным моментом дистанционной формы обучения квантовой фотонике является то, что студенты могут выполнять задания в удобное для них время с необходимыми перерывами. Преподаватель может своевременно отслеживать продвижение своих студентов.

В результате выполнения самостоятельной части работы создан дистанционный курс по квантовой фотонике на платформе MOODLE. Проведённое исследование процесса создания элементов и материалов дистанционного курса по квантовой фотонике, созданного при помощи инструментария системы управления обучением MOODLE, показало работоспособность и функциональную пригодность элементов дистанционного курса квантовой фотонике. Разработанный дистанционный курс по квантовой фотонике позволяет реализовать непрерывное информационное сопровождение изучения кван-

товой фотоники.

Дистанционный курс по квантовой фотонике, созданный в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета, способствует систематизации хранения учебного материала по квантовой фотонике. При изучении курса по квантовой фотонике система управления обучением MOODLE привносит то, что кроме основного курса по квантовой фотонике, используются теоретические материалы для подготовки в домашних условиях, который позволяет расширить учебное содержание курса квантовой фотоники, а также провести дифференциацию материала в соответствии с индивидуальными потребностями и запросами студентов, изучающих курс квантовой фотоники. Система управления обучением MOODLE позволяет открывать и закрывать тематические модели в соответствии с временем изучения, что позволяет поддерживать необходимый темп продвижения по курсу.

## Заключение

В настоящей работе проведено всестороннее исследование дистанционного курса по квантовой фотонике в системе управления обучением MOODLE. В работе описан результат разработки дистанционного курса по квантовой фотонике, который готов к началу использования в учебном процессе в университете, позволяет автоматизировать проверку знаний по квантовой оптике и фотонике. Дистанционный курс по квантовой фотонике, созданный в системе управления обучением MOODLE, способствует систематизации хранения учебного материала по квантовой оптике и фотонике. При изучении курса по квантовой фотонике система дистанционного обучения MOODLE привносит то, что кроме основного курса по изучаемой дисциплине, используется материал для подготовки в домашних условиях, который позволяет расширить учебное содержание, а также провести дифференциацию учебного материала в соответствии с индивидуальными потребностями и запросами студентов, изучающих курс квантовой фотоники. Система управления обучением MOODLE позволяет открывать и закрывать тематические модели в соответствии с временем изучения, что позволяет поддерживать необходимый темп продвижения по курсу квантовой фотоники. Дистанционный курс по квантовой фотонике, созданный в системе управления обучением MOODLE, способен стать эффективным помощником, автоматизирующим наиболее трудоёмкие элементы труда преподавателя в процессе преподавания учебных дисциплин физико-математической направленности. Созданный дистанционный курс по квантовой фотонике позволит планировать, организовывать и проводить изучение теоретического материала курса по квантовой фотонике в дистанционной или смешанной форме обучения. Разработанный дистанционный курс по квантовой фотонике может занять особое место среди дистанционных курсов по физико-математической тематике, предназначенных для студентов физико-математических профилей подготовки университетов.

Выводы по работе можно сформулировать следующим образом:

1. проведённый анализ научной литературы по квантовой фотонике показал существование возрастающих потребностей в создании курсов по квантовой фотонике для различных уровней образования,
2. разработан оригинальный дистанционный курс по квантовой фотонике, который готов к началу использования в учебном процессе университета,
3. созданные задания и тесты позволяют проводить проверку знаний студентов по курсу квантовой фотоники в условиях смешанного обучения или дистанционного обучения квантовой фотонике.

Задачи работы решены полностью.

Гипотеза научного исследования, состоящая в том, что если использовать курс квантовой фотоники, основанный на комбинации теоретических методов и численных методов в процессе изучения квантовой фотоники, то можно повысить познавательный интерес студентов к квантовой оптике и фотонике, подтверждена полностью. В качестве подтверждения гипотезы исследования спроектирован дистанционный курс по квантовой фотонике, основанный на комбинации теоретических методов и численных методов в процессе изучения квантовой оптики и фотоники, позволяющий повысить познавательный интерес студентов к квантовой оптике и фотонике по традиционной, смешанной и дистанционной формам обучения с применением компьютеров.

Использование дистанционного курса квантовой фотоники, созданного в системе управления обучением MOODLE, способствует интенсификации учебного процесса и более осмысленному изучению теоретического материала курса квантовой фотоники, приобретению навыков самоорганизации и превращению систематических знаний в системные, помогает развитию познавательной деятельности обучающихся и интереса к фотонике. Созданный в работе дистанционный курс по квантовой фотонике позволяет эффективно планировать, организовывать и проводить обучение по квантовой фотонике.

Результаты разработки дистанционного курса квантовой фотоники позволят улучшить методы и технологии преподавания модульной дисциплины по квантовой фотонике в университете, основанные на использовании оригинальных материалов для описания оптических процессов в квантовой фотонике.

По итогам разработки дистанционного курса квантовой фотоники в системе управления обучением MOODLE можно сделать вывод о наличии элементов для эффективного контроля знаний по квантовой фотонике в составе дистанционного курса в системе управления обучением MOODLE.

#### **Список использованных источников**

1. Vollmer Frank, Yu Deshui. Fundamentals of quantum optics // Optical whispering gallery modes for biosensing. — Springer International Publishing, 2020. — P. 299–344. — ISBN: 9783030602352. — URL: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-60235-2\\_6](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-60235-2_6).
2. Walmsley I. A. Quantum optics: science and technology in a new light // Science. — 2015. — may. — Vol. 348, no. 6234. — P. 525–530. — URL: <http://dx.doi.org/10.1126/SCIENCE.AAB0097>.
3. Dravins Dainis. Photonic astronomy and quantum optics // Astrophysics and space science library. — Springer Netherlands, 2008. — P. 95–132. — ISBN: 9781402065170. — URL: [http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-6518-7\\_6](http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-6518-7_6).
4. Asavanant Warit, Furusawa Akira. Quantum optics // Optical quantum computers. — AIP Publishing LLC Melville, New York, 2022. — jan. — P. 2–1–2–58. — ISBN: 9780735424067. — URL: [http://dx.doi.org/10.1063/9780735424074\\_002](http://dx.doi.org/10.1063/9780735424074_002).
5. Bertolotti Mario. Quantum optics, by John Garrison and Raymond Chiao: Scope: Textbook. Level: post-graduate students; early career researchers, researchers // Contemporary physics. — 2016. — may. — Vol. 57, no. 3. — P. 426–432. — URL: <http://dx.doi.org/10.1080/00107514.2016.1156769>.
6. Chua Sheon S. Y. Quantum optics and light // Quantum enhancement of a 4 km laser interferometer gravitational-wave detector. — Springer International Publishing,

2015. — P. 27–45. — ISBN: 9783319176864. — URL: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-17686-4\\_3](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-17686-4_3).
7. Man'ko V. I. Introduction to quantum optics // AIP conference proceedings. — AIP, 1996. — URL: <http://dx.doi.org/10.1063/1.50228>.
  8. Ritsch Helmut. Crystals of atoms and light // Nature Physics. — 2009. — nov. — Vol. 5, no. 11. — P. 781–782. — URL: <http://dx.doi.org/10.1038/NPHYS1435>.
  9. Laussy Fabrice P. A new way to correlate photons // Nature Materials. — 2017. — mar. — Vol. 16, no. 4. — P. 398–399. — URL: <http://dx.doi.org/10.1038/NMAT4884>.
  10. Loudon Rodney. Quantum optics at a stretch // Physics World. — 1990. — oct. — Vol. 3, no. 10. — P. 45–48. — URL: <http://dx.doi.org/10.1088/2058-7058/3/10/24>.
  11. Bellini Marco. Quiet moments in time // Nature. — 2017. — jan. — Vol. 541, no. 7637. — P. 292–293. — URL: <http://dx.doi.org/10.1038/541292A>.
  12. Scully Marlan O., Zubairy M. Suhail. Lasing without inversion and other effects of atomic coherence and interference // Quantum optics. — Cambridge University Press, 1997. — sep. — P. 220–247. — URL: <http://dx.doi.org/10.1017/CB09780511813993.009>.
  13. Mekhov I. B., Ritsch H. Quantum optics with quantum gases // Laser Physics. — 2009. — apr. — Vol. 19, no. 4. — P. 610–615. — URL: <http://dx.doi.org/10.1134/S1054660X09040136>.
  14. Flockhart Gordon M., Bauer Ralf, Lengden Michael. Photonic systems integration for postgraduate students in the centre for doctoral training in applied photonics // Seventeenth conference on education and training in optics and photonics: ETOP 2023 / Ed. by David J. Hagan, Michael McKee. — SPIE, 2023. — jun. — URL: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2670785>.
  15. Pavesi Lorenzo. Editorial: editor's challenge in optics and photonics: advancing electronics with photonics // Frontiers in physics. — 2023. — apr. — Vol. 11. — URL: <http://dx.doi.org/10.3389/fphy.2023.1199022>.
  16. Townsend Peter. Photonics in the twenty-first century // The power of imperfections. — Oxford University Press Oxford, 2022. — jan. — P. 203–219. — ISBN: 9780191948268. — URL: <http://dx.doi.org/10.1093/oso/9780192857477.003.0013>.
  17. McKenzie James. The power of photonics // Physics World. — 2022. — nov. — Vol. 35, no. 9. — P. 19–19. — URL: <http://dx.doi.org/10.1088/2058-7058/35/09/18>.
  18. Photonics for computing and computing for photonics / Daniel Brunner [et al.] // Nanophotonics. — 2020. — sep. — Vol. 9, no. 13. — P. 4053–4054. — URL: <http://dx.doi.org/10.1515/NANOPH-2020-0470>.
  19. Boltasseva Alexandra, Shalaev Vladimir M., Wilson Blake. Machine learning for photonics // Active Photonic Platforms (APP) 2022 / Ed. by Ganapathi S. Subramania, Stavroula Foteinopoulou. — SPIE, 2022. — oct. — URL: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2633108>.
  20. Girtan Mihaela. Trends in photonics // Springer Briefs in applied sciences and technology. — Springer International Publishing, 2017. — sep. — P. 77–96. — ISBN: 9783319673370. — URL: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-67337-0\\_4](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-67337-0_4).

21. Eichelkraut Toni, Szameit Alexander. Random sudoku light // *Nature*. — 2015. — oct. — Vol. 526, no. 7575. — P. 643–644. — URL: <http://dx.doi.org/10.1038/526643A>.
22. Towards four-dimensional photonics / Hannah M. Price [et al.] // *Advances in photonics of quantum computing, memory, and communication IX* / Ed. by Zameer U. Hasan [et al.]. — SPIE, 2016. — mar. — URL: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2218539>.
23. Microwave photonic signal processing / Jose Capmany [et al.] // *Journal of Lightwave Technology*. — 2013. — feb. — Vol. 31, no. 4. — P. 571–586. — URL: <http://dx.doi.org/10.1109/JLT.2012.2222348>.
24. Urick Vincent J., Mikeska Dennis C., Godinez Modesto E. Photonics for electronic interference suppression // 2017 IEEE Avionics and vehicle fiber-optics and photonics conference (AVFOP). — IEEE, 2017. — nov. — URL: <http://dx.doi.org/10.1109/AVFOP.2017.8169761>.
25. Deep learning for topological photonics / Jooyeong Yun [et al.] // *Advances in Physics: X*. — 2022. — mar. — Vol. 7, no. 1. — URL: <http://dx.doi.org/10.1080/23746149.2022.2046156>.
26. Introduction to photonics: principles and the most recent applications of microstructures / Iraj Amiri [et al.] // *Micromachines*. — 2018. — sep. — Vol. 9, no. 9. — P. 452. — URL: <http://dx.doi.org/10.3390/MI9090452>.
27. Bonneau Damien. Silicon quantum photonics // 2016 18th International conference on transparent optical networks (ICTON). — IEEE, 2016. — jul. — URL: <http://dx.doi.org/10.1109/ICTON.2016.7550615>.
28. Schneebeli L., Kira M., Koch S. W. Quantum optics with quantum-dot and quantum-well systems // *Quantum optics with semiconductor nanostructures*. — Elsevier, 2012. — P. 369–393e. — ISBN: 9780857092328. — URL: <http://dx.doi.org/10.1533/9780857096395.3.369>.
29. Wang Yifan, Yang Shize, Crozier Peter A. Spectroscopic observation and modeling of photonic modes in CeO<sub>2</sub> nanostructures // *Microscopy and microanalysis*. — 2023. — jul. — Vol. 29, no. 4. — P. 1307–1314. — URL: <http://dx.doi.org/10.1093/micmic/ozad059>.
30. 3D-photonics nanostructures for photonic computing / Wolfram H. P. Pernice [et al.] // *Advanced fabrication technologies for micro/nano optics and photonics XVI* / Ed. by Georg von Freymann, Eva Blasco, Debashis Chanda. — SPIE, 2023. — mar. — URL: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2653599>.
31. Spectroscopic properties study of photonic crystals and nanostructures / I. N. Aliev [et al.] // *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series natural sciences*. — 2023. — apr. — no. 2 (107). — P. 35–49. — URL: <http://dx.doi.org/10.18698/1812-3368-2023-2-35-49>.
32. Photonic nanostructures mimicking floral epidermis for perovskite solar cells / Maria Vasilopoulou [et al.] // *Cell reports physical science*. — 2022. — sep. — Vol. 3, no. 9. — P. 101019. — URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.xcrp.2022.101019>.




33. Accurate transfer of individual nanoparticles onto single photonic nanostructures / Javier Redolat [et al.] // ACS Applied materials and interfaces. — 2022. — dec. — Vol. 15, no. 2. — P. 3558–3565. — URL: <http://dx.doi.org/10.1021/acscami.2c13633>.
34. Jamwal Nishant, Kiani Amirkianoosh. Synthesis of optoelectronic nanostructures on silicon and gold-coated silicon via high-intensity laser pulses at varied pulse durations // Coatings. — 2023. — feb. — Vol. 13, no. 2. — P. 375. — URL: <http://dx.doi.org/10.3390/coatings13020375>.

**Сведения об авторах:**

**Вероника Васильевна Левочкина** — студент факультета физико-математического и технологического образования ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: [sokolovavasilevna2002@inbox.ru](mailto:sokolovavasilevna2002@inbox.ru)

ORCID iD  0000-0003-3479-119X

Web of Science ResearcherID  AGV-8078-2022

Original article  
PACS 01.40.-d  
OCIS 000.2060  
MSC 00A79

## Development of a distance learning course on quantum photonics in the learning management system MOODLE

V. V. Levochkina 

*Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia*

Submitted August 22, 2024  
Resubmitted August 23, 2024  
Published September 12, 2024

---

**Abstract.** The results of the development of a distance course on quantum photonics in the form of a distance course created in the learning management system MOODLE are considered. The distance course on quantum photonics is devoted to studying the quantum properties of nanosystems and nanostructures in the photon field. The main functional capabilities of the distance course on quantum photonics created in the learning management system MOODLE on the university educational portal are described. The methodological features of the process of developing a distance course on quantum photonics in the learning management system MOODLE, which can be used in a university physics course, are considered. The possibilities of the modular structure of the distance course on quantum photonics are discussed.

**Keywords:** photonics, quantum photonics, course, distance learning course, quantum properties of nanostructure, nanostructure, photon field

---

### References

1. Vollmer Frank, Yu Deshui. Fundamentals of quantum optics // Optical whispering gallery modes for biosensing.— Springer International Publishing, 2020.— P. 299–344.— ISBN: 9783030602352.— URL: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-60235-2\\_6](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-60235-2_6).
2. Walmsley I. A. Quantum optics: science and technology in a new light // Science.— 2015.— may.— Vol. 348, no. 6234.— P. 525–530.— URL: <http://dx.doi.org/10.1126/SCIENCE.AAB0097>.
3. Dravins Dainis. Photonic astronomy and quantum optics // Astrophysics and space science library.— Springer Netherlands, 2008.— P. 95–132.— ISBN: 9781402065170.— URL: [http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-6518-7\\_6](http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-6518-7_6).
4. Asavanant Warit, Furusawa Akira. Quantum optics // Optical quantum computers.— AIP Publishing LLC Melville, New York, 2022.— jan.— P. 2–1–2–58.— ISBN: 9780735424067.— URL: [http://dx.doi.org/10.1063/9780735424074\\_002](http://dx.doi.org/10.1063/9780735424074_002).

5. Bertolotti Mario. Quantum optics, by John Garrison and Raymond Chiao: Scope: Textbook. Level: post-graduate students; early career researchers, researchers // Contemporary physics. — 2016. — may. — Vol. 57, no. 3. — P. 426–432. — URL: <http://dx.doi.org/10.1080/00107514.2016.1156769>.
6. Chua Sheon S. Y. Quantum optics and light // Quantum enhancement of a 4 km laser interferometer gravitational-wave detector. — Springer International Publishing, 2015. — P. 27–45. — ISBN: 9783319176864. — URL: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-17686-4\\_3](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-17686-4_3).
7. Man'ko V. I. Introduction to quantum optics // AIP conference proceedings. — AIP, 1996. — URL: <http://dx.doi.org/10.1063/1.50228>.
8. Ritsch Helmut. Crystals of atoms and light // Nature Physics. — 2009. — nov. — Vol. 5, no. 11. — P. 781–782. — URL: <http://dx.doi.org/10.1038/NPHYS1435>.
9. Laussy Fabrice P. A new way to correlate photons // Nature Materials. — 2017. — mar. — Vol. 16, no. 4. — P. 398–399. — URL: <http://dx.doi.org/10.1038/NMAT4884>.
10. Loudon Rodney. Quantum optics at a stretch // Physics World. — 1990. — oct. — Vol. 3, no. 10. — P. 45–48. — URL: <http://dx.doi.org/10.1088/2058-7058/3/10/24>.
11. Bellini Marco. Quiet moments in time // Nature. — 2017. — jan. — Vol. 541, no. 7637. — P. 292–293. — URL: <http://dx.doi.org/10.1038/541292A>.
12. Scully Marlan O., Zubairy M. Suhail. Lasing without inversion and other effects of atomic coherence and interference // Quantum optics. — Cambridge University Press, 1997. — sep. — P. 220–247. — URL: <http://dx.doi.org/10.1017/CB09780511813993.009>.
13. Mekhov I. B., Ritsch H. Quantum optics with quantum gases // Laser Physics. — 2009. — apr. — Vol. 19, no. 4. — P. 610–615. — URL: <http://dx.doi.org/10.1134/S1054660X09040136>.
14. Flockhart Gordon M., Bauer Ralf, Lengden Michael. Photonic systems integration for postgraduate students in the centre for doctoral training in applied photonics // Seventeenth conference on education and training in optics and photonics: ETOP 2023 / Ed. by David J. Hagan, Michael McKee. — SPIE, 2023. — jun. — URL: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2670785>.
15. Pavesi Lorenzo. Editorial: editor's challenge in optics and photonics: advancing electronics with photonics // Frontiers in physics. — 2023. — apr. — Vol. 11. — URL: <http://dx.doi.org/10.3389/fphy.2023.1199022>.
16. Townsend Peter. Photonics in the twenty-first century // The power of imperfections. — Oxford University PressOxford, 2022. — jan. — P. 203–219. — ISBN: 9780191948268. — URL: <http://dx.doi.org/10.1093/oso/9780192857477.003.0013>.
17. McKenzie James. The power of photonics // Physics World. — 2022. — nov. — Vol. 35, no. 9. — P. 19–19. — URL: <http://dx.doi.org/10.1088/2058-7058/35/09/18>.
18. Photonics for computing and computing for photonics / Daniel Brunner [et al.] // Nanophotonics. — 2020. — sep. — Vol. 9, no. 13. — P. 4053–4054. — URL: <http://dx.doi.org/10.1515/NANOPH-2020-0470>.

19. Boltasseva Alexandra, Shalaev Vladimir M., Wilson Blake. Machine learning for photonics // *Active Photonic Platforms (APP) 2022* / Ed. by Ganapathi S. Subramania, Stavroula Foteinopoulou. — SPIE, 2022. — oct. — URL: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2633108>.
20. Girtan Mihaela. Trends in photonics // *Springer Briefs in applied sciences and technology*. — Springer International Publishing, 2017. — sep. — P. 77–96. — ISBN: 9783319673370. — URL: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-67337-0\\_4](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-67337-0_4).
21. Eichelkraut Toni, Szameit Alexander. Random sudoku light // *Nature*. — 2015. — oct. — Vol. 526, no. 7575. — P. 643–644. — URL: <http://dx.doi.org/10.1038/526643A>.
22. Towards four-dimensional photonics / Hannah M. Price [et al.] // *Advances in photonics of quantum computing, memory, and communication IX* / Ed. by Zameer U. Hasan [et al.]. — SPIE, 2016. — mar. — URL: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2218539>.
23. Urick Vincent J., Mikeska Dennis C., Godinez Modesto E. Photonics for electronic interference suppression // *2017 IEEE Avionics and vehicle fiber-optics and photonics conference (AVFOP)*. — IEEE, 2017. — nov. — URL: <http://dx.doi.org/10.1109/AVFOP.2017.8169761>.
24. Microwave photonic signal processing / Jose Capmany [et al.] // *Journal of Lightwave Technology*. — 2013. — feb. — Vol. 31, no. 4. — P. 571–586. — URL: <http://dx.doi.org/10.1109/JLT.2012.2222348>.
25. Deep learning for topological photonics / Jooyeong Yun [et al.] // *Advances in Physics: X*. — 2022. — mar. — Vol. 7, no. 1. — URL: <http://dx.doi.org/10.1080/23746149.2022.2046156>.
26. Introduction to photonics: principles and the most recent applications of microstructures / Iraj Amiri [et al.] // *Micromachines*. — 2018. — sep. — Vol. 9, no. 9. — P. 452. — URL: <http://dx.doi.org/10.3390/MI9090452>.
27. Bonneau Damien. Silicon quantum photonics // *2016 18th International conference on transparent optical networks (ICTON)*. — IEEE, 2016. — jul. — URL: <http://dx.doi.org/10.1109/ICTON.2016.7550615>.
28. Schneebeli L., Kira M., Koch S. W. Quantum optics with quantum-dot and quantum-well systems // *Quantum optics with semiconductor nanostructures*. — Elsevier, 2012. — P. 369–393e. — ISBN: 9780857092328. — URL: <http://dx.doi.org/10.1533/9780857096395.3.369>.
29. Wang Yifan, Yang Shize, Crozier Peter A. Spectroscopic observation and modeling of photonic modes in CeO<sub>2</sub> nanostructures // *Microscopy and microanalysis*. — 2023. — jul. — Vol. 29, no. 4. — P. 1307–1314. — URL: <http://dx.doi.org/10.1093/micmic/ozad059>.
30. 3D-photonic nanostructures for photonic computing / Wolfram H. P. Pernice [et al.] // *Advanced fabrication technologies for micro/nano optics and photonics XVI* / Ed. by Georg von Freymann, Eva Blasco, Debashis Chanda. — SPIE, 2023. — mar. — URL: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2653599>.


31. Spectroscopic properties study of photonic crystals and nanostructures / I. N. Aliev [et al.] // Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series natural sciences. — 2023. — apr. — no. 2 (107). — P. 35–49. — URL: <http://dx.doi.org/10.18698/1812-3368-2023-2-35-49>.
32. Photonic nanostructures mimicking floral epidermis for perovskite solar cells / Maria Vasilopoulou [et al.] // Cell reports physical science. — 2022. — sep. — Vol. 3, no. 9. — P. 101019. — URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.xcrp.2022.101019>.
33. Accurate transfer of individual nanoparticles onto single photonic nanostructures / Javier Redolat [et al.] // ACS Applied materials and interfaces. — 2022. — dec. — Vol. 15, no. 2. — P. 3558–3565. — URL: <http://dx.doi.org/10.1021/acscami.2c13633>.
34. Jamwal Nishant, Kiani Amirkianoosh. Synthesis of optoelectronic nanostructures on silicon and gold-coated silicon via high-intensity laser pulses at varied pulse durations // Coatings. — 2023. — feb. — Vol. 13, no. 2. — P. 375. — URL: <http://dx.doi.org/10.3390/coatings13020375>.

**Information about authors:**

**Veronika Vasilievna Levochkina** — student of the Faculty of Physics, Mathematics and Technological Education of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ulyanovsk State Pedagogical University”, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: [sokolovavasilevna2002@inbox.ru](mailto:sokolovavasilevna2002@inbox.ru)

ORCID iD  0000-0003-3479-119X

Web of Science ResearcherID  AGV-8078-2022